

## Секция X ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

---

### КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТАКТА ДИСКА И ЦИЛИНДРА

С.С. Щербаков

*Учреждение образования «Белорусский государственный университет»,  
г. Минск*

Научный руководитель М.А. Журавков

Надежность систем, работающих в условиях контактного взаимодействия, в настоящее время основывается на модели твердого деформируемого тела с опасным объемом, который определяется областью конечных размеров с критическим уровнем напряжений [1]. Аналитические расчеты компонент тензора напряжений и деформаций в различных областях зоны контакта (в центре площадки контакта, на поверхности, вне площадки контакта и т. д.) приведены в [2]. Однако для определения опасных объемов необходимо полностью учитывать распределение нормальных и касательных напряжений в контактной зоне. Поскольку аналитическое решение этой задачи затруднено в силу сложности и громоздкости соответствующих уравнений, представляется целесообразным применение современных конечно-элементных пакетов инженерного анализа. В настоящей работе отражены результаты конечно-элементного расчета в пакете ANSYS 7.0 напряженно-деформируемого состояния контактной пары диска с профильным радиусом и цилиндром. В зоне контакта определены опасные объемы по главным напряжениям.

Рассмотрим диск и цилиндр, изначально контактирующие в одной точке. Общие для обоих контактирующих тел граничные условия описываются только наличием контакта. Геометрия контактной пары в пакете ANSYS строится с учетом начального внедрения диска в цилиндр, что необходимо для корректного описания контакта между взаимодействующими телами, причем заданное внедрение должно быть мало по сравнению с наименьшим из заданных геометрических параметров [3, 4].

В силу симметрии относительно плоскостей нормальных к поверхности контакта и проходящих через главные оси эллипса контакта далее будем рассматривать четверть модели. Начало системы координат зададим в точке начального контакта и выполним разбиение модели на конечные элементы (рис. 1).

Заметим, что разбиение модели на конечные элементы выполнено полуавтоматически с использованием подпрограммы MeshTool таким образом, чтобы область в непосредственной близости от начального контакта содержала как можно большее число конечных элементов. При разбиении были использованы твердотельные элементы SOLID95, целевые элементы TARGE170 и контактные элементы CONT175 [3, 5, 6]. Чрезмерное уменьшение разбиения в зоне контакта для данной задачи нецелесообразно, поскольку при приложении нагрузки во время расчета, в силу слишком малого размера элементов, происходят недопустимые искажения их формы, что приводит к отказу решателя системы.

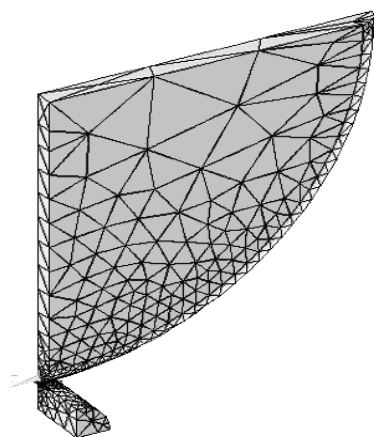


Рис. 1. Разбиение модели на конечные элементы

При формулировке неконтактных граничных условий учитываем симметрию модели и прикладываем к диску сжимающую нормальную силу [4]. Для цилиндра запретим перемещения в вертикальном направлении. На верхней поверхности диска зададим условие совместности перемещений так, чтобы гарантировать одинаковое перемещение всех узлов, принадлежащих этой поверхности, по вертикали после нагружения.

Выполним расчет напряжений и деформаций, возникающих при контакте диска и цилиндра, прижатых друг к другу силой  $F_n$  равной 500 Н (линия действия силы лежит на оси, проходящей через центры кривизн контактирующих тел и точку первоначального контакта). В точке контакта главные радиусы кривизны диска  $R_{11}$ ,  $R_{12}$  и цилиндра  $R_{21}$  составляют 3 мм, 50 мм и 5 мм, соответственно. Радиус кривизны цилиндра  $R_{22}$  будем считать бесконечно большим. Коэффициент трения качения принимаем равным 0,05.

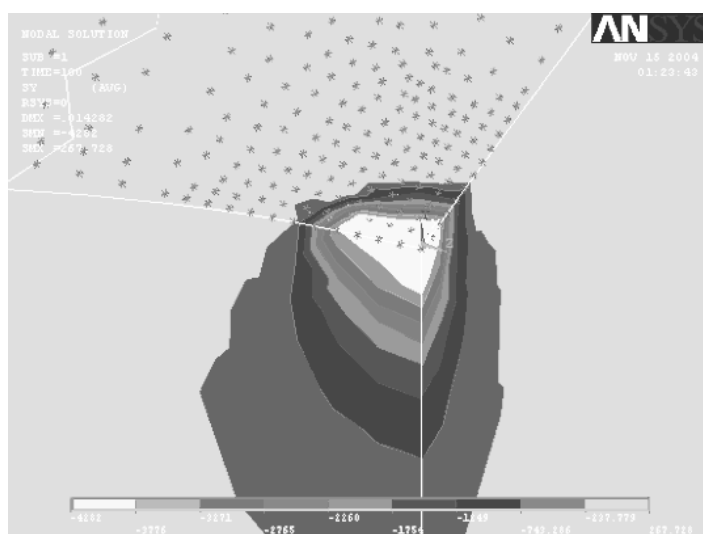


Рис. 2. Распределение напряжений  $\sigma_y$  в зоне контакта диска и цилиндра

Рис. 2 показывает, что линии уровня напряжений в качественном отношении соответствуют предположениям о характере распределения напряжений при контакте [2]. Этим предположениям также удовлетворяют распределения остальных независимых компонент тензоров напряжений и деформаций. Анализ максимальных значений напряжений, возникающих в зоне контакта, показал, что наибольшими являются напряжения  $\sigma_y$ . Их значения для различных размеров конечных элементов в области контакта, а также погрешность конечно-элементного расчета по сравнению с известными аналитическими решениями, полученными на основании известных решений [2], приведены в таблице.

**Максимальные напряжения в центре площадки контакта**

| Размер конечных элементов в области контакта, мм | Напряжения, рассчитанные на базе ANSYS, Н/мм <sup>2</sup> | Напряжения, рассчитанные аналитически, Н/мм <sup>2</sup> | Относительная погрешность, % |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------|
| 0,4                                              | 4210,9                                                    | 4429,7                                                   | 4,94                         |
| 0,2                                              | 5294,7                                                    | 4429,7                                                   | 19,53                        |
| 0,1                                              | 4994,0                                                    | 4429,7                                                   | 12,74                        |

Полученные результаты показывают, что максимальные значения напряжений в зоне контакта значительно превосходят предел выносливости при трении качения  $p_f^*$  [1], равный 888 Н/мм<sup>2</sup> при нагрузке 500 Н. Следовательно, в области контакта повреждающие процессы особенно интенсивны вдоль оси ординат.

Несмотря на то, что погрешность конечно-элементного решения по сравнению с аналитическим является наименьшей при характерном размере конечных элементов, в области контакта, равных 0,4 мм, при грубом разбиении картина распределения недостаточно точна для корректной оценки величин опасных объемов. При более мелком разбиении погрешность составляет 12,74 %, что может быть объяснено существенной разницей между аналитическим решением контактной задачи, основанным на предположении об эллиптичности площадки контакта и распределения усилий по поверхности, и конечно-элементным расчетом, основанным на сеточном решении задачи эллиптического типа.

Будем считать, что критический уровень напряжений, определяющий опасный объем, равен пределу выносливости  $p_f^*$  при контакте и составляет 888 Н/мм<sup>2</sup> [1]. Поскольку абсолютное большинство конечно-элементных пакетов, в том числе и ANSYS, не содержат модулей определения опасных объемов, процедуру вычисления опасных объемов выполним посредством построения выпуклых поверхностей, содержащих узлы, принадлежащие пространственным границам опасных объемов.

После формирования поверхности, ограничивающей опасный объем, используется встроенная в пакет ANSYS функция определения геометрических характеристик объемных тел. Величины опасных объемов, рассчитанные по главным напряжениям  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  и  $\sigma_3$ , составляют  $73,508 \cdot 10^{-3}$ ,  $4,6954 \cdot 10^{-3}$  и  $3,1350 \cdot 10^{-3}$  мм<sup>3</sup>, соответственно. Найденные величины опасных объемов одинаковы для диска и цилиндра.

#### Литература

1. Сосновский, Л.А. Основы трибофатики /Л.А. Сосновский. – Гомель: БелГУТ, 2003.
2. Джонсон, К. Механика контактного взаимодействия /К. Джонсон. – М.: Мир, 1989.
3. ANSYS 7.0. ANSYS LS-DYNA User's Guide. // ANSYS, Inc. (2002)
4. <http://instruct1.cit.cornell.edu/courses/ansys/contact/index.htm>

5. Чигарев, А.В. ANSYS для инженеров /А.В. Чигарев, А.С. Кравчук, А.Ф. Смалюк. – М.: Машиностроение-1, 2004.
6. Зенкевич, О. Конечные элементы и аппроксимация /О. Зенкевич, К. Морган. – М.: Мир, 1986.

## КОМБИНИРОВАННЫЙ НЕЙРОСЕТЕВОЙ ПОДХОД ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ

П.А. Кочурко

Учреждение образования «Брестский государственный  
технический университет», Беларусь

Научный руководитель В.А. Головки

*Технологии обнаружения атак в последнее время стали стандартным средством в инфраструктуре информационной безопасности предприятия. Существует множество различных подходов к обнаружению аномалий и злоупотреблений. В данной статье рассматривается использование рекуррентных нейронных сетей для обнаружения аномалий и методы улучшения данной технологии с использованием смешанных тренировочных наборов данных.*

### 1. Введение

Системы обнаружения атак (СОА) используются для обнаружения различных типов атак. Они объединяются с межсетевыми экранами и другими средствами обеспечения безопасности для того, чтобы своевременно оповещать персонал в случае обнаружения подозрительной активности. На текущий момент в обнаружении атак используются различные технологии [1], в том числе и искусственные нейронные сети (ИНС), которые показали многообещающие результаты во многих работах. ИНС имеют потенциал для решения множества проблем, существующих в применении современных подходов к обнаружению атак.

Существует две основные технологии обнаружения атак: обнаружение аномального поведения и обнаружение злоупотреблений. Для улучшения результатов обнаружения атак следует применять оба подхода в рамках одной СОА. Рассмотрим упрощенную схему СОА на рис. 1. Детектор аномалий производит «отсеивание» большей части нормального трафика, после чего оставшиеся соединения классифицируются и распознаются. Ранее было показано, что хороший уровень обнаружения атак может быть достигнут с применением ИНС как в детекторе аномалий, так и в модуле распознавания. В данной статье заостряется внимание на улучшении и развитии техники обнаружения, применяемой в детекторе аномалий.

Обучение и тестирование ИНС производилось на выборке KDD'99, содержащей записи о TCP-соединениях, включающих 41 параметр, полученные из обработанной базы данных DARPA 1998 Intrusion detection evaluation [2].

### 2. Обнаружение аномалий

Как было сказано выше, задачей детектора аномалий является обнаружение аномальной сетевой активности. Решение о типе поведения принимается на основании некоторой меры аномальности, которая может превысить заданный порог [3]. Мы используем рекуррентную нейронную сеть (РНС) для нахождения данного значения. РНС – многослойная ИНС, производящая отображение своих входов в идентичные им выходы.

Трехслойные полносвязные нелинейные нейронные сети (рис. 2) с 41 входом и выходом и 50 нейронными элементами в скрытом слое с функциями активации ги-